

Vysoká škola báňská
Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní



Tribotechnická diagnostika vstříkovacích lisů

Tribotechnical Diagnostics of Injection Molding
Machines

Vypracoval: Radek Daniel

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Hrabec PhD.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Radek Daniel**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Tribotechnická diagnostika vstřikovacích lisů**
Tribotechnical Diagnostics of Injection Molding Machines
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Na základě požadavků a podkladů zadavatele zpracujte rozbor a posouzení současného stavu v oblasti údržby vstřikovacích lisů SELEX NE 55 v provozu zpracování plastových výrobků. Zejména se zaměřte na problematiku mazání vybraných zařízení, používaná maziva a aplikaci zásad tribotechnické diagnostiky.

V rámci zadání zpracujte:

1. Analýzu a řešerši k problematice provozu vstřikovacích lisů v procesu výroby technických výrobků z plastů.
2. Posouzení možností aplikace zásad technické diagnostiky v provozu vstřikovacích lisů vedoucích k zajištění požadované spolehlivosti a dosažení dlouhé životnosti sledovaných strojů se zaměřením na tribotechnickou diagnostiku.
3. Analýzu současného stavu a návrh využití vhodných metod tribotechnické diagnostiky pro posouzení aktuálního stavu sledovaných zařízení a používaných maziv, včetně odběrů vzorků a jejich vyhodnocení.
4. Doporučení pro následný provoz sledovaných strojů, návrh pravidel údržby, mazání a péče o maziva v souladu s platnými zásadami tribotechnické diagnostiky.

Další pokyny a informace poskytne konzultant bakalářské práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- ŠAFR, E. *Technika mazání*. 2. dopl. vydání, SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1970. 381 s. 04-010-70
- ŠAFR, E. *Tribotechnika*. SNTL Praha - Nakladatelství technické literatury, Praha, 1984. 300 s. 04-243-84
- SZCZEREK, M. a M. WISNIEWSKI. *Tribologie, Tribotechnika*. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji Radom, 2000. 727 s. ISBN 83-7204-199-7
- HELEBRANT, F., ZIEGLER, J. a D. MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost I - Tribodiagnostika*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2001, 158 s. ISBN 80-7078-883-6
- ŘEHULKA, Z. *Konstrukce výlisků z plastů a forem pro zpracování plastů: polymery*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. 230, 28 s. ISBN 978-80-7204-833-5
- Firemní podklady společnosti D & R Plast, s.r.o., Bělá pod Pradědem

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce:
Adresa trvalého pobytu autora práce:

Radek Daniel
Bělá pod Pradědem Adolfovice 300, 790 01
Jeseník

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

DANIEL, R. *Tribotechnická diagnostika vstřikovacích lisů : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2017, 34 s. Vedoucí práce : Ing. Ladislav Hrabec Ph.D

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou tribotechnické diagnostiky v oblasti vstřikovacích lisů na termoplasty. V první části se práce zaměřuje na oblast působení strojírenské firmy D&R Plast s.r.o, na konstrukci vstřikovacích lisů a na problematiku ohledně hydraulických olejů. V části druhé, praktické, se detailněji zabývá problematikou hydraulických olejů, zejména rozbořem těchto kapalin a jejich vyhodnocením.

Klíčová slova: Tribodiagnostika, vstřikovací lis, hydraulický olej.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

DANIEL, R. *Tribotechnical diagnostic of injection molding machines : bachelor's thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2017, 34 p. Thesis head: Ing. Ladislav Hrabec Ph.D

This bachelor thesis deals with Tribotechnical diagnostic of injection molding machines for thermoplastics. The first part focuses on the area of the engineering company D&R Plast s.r.o, construction of injection molding machines and on issues concerning hydraulic oils. In the second, practical, more detail deals with hydraulic oils, especially the analysis of these fluids and their evaluation.

Key words: Tribotechnical diagnostic, injection molding machine, hydraulic oil.

Obsah

1 Úvod.....	9
2 Firma D&R Plast s.r.o.....	10
2.1 Firemní stroje a materiály.....	11
2.2 Olejové hospodářství	12
3 Konstrukce vstřikovacího lisu	13
3.1 Vstřikovací jednotka.....	14
3.2 Uzavírací jednotka	15
3.3 Vstřikovací forma	16
3.4 Hydraulický obvod	18
4 Prováděná tribodiagnostická měření	20
4.1 Odběr vzorku	20
4.2 Kinematická viskozita.....	22
4.3 Hmotnostní obsah vody	24
4.4 Číslo kyselosti.....	25
4.5 Gravimetrické zjišťování mechanických nečistot	26
4.6 Kód čistoty pomocí mikroskopu	27
4.7 Spektrální analýza	28
4.8 Rentgenová spektrometrie	29
5 Elektrostatické čištění.....	30
6 Výsledky měření.....	32
6.1 Výsledek kinematické viskozity	32
6.2 Výsledek obsahu vody v oleji	33
6.3 Výsledky čísla kyselosti	33
6.4 Výsledek mechanických nečistot.....	34
6.5 Kód čistoty	34
6.6 FT-IR spektrometrie	35
6.7 Závěry z provedených měření.....	35
7 Závěr.....	36

Seznam použitých značek a symbolů

μm	mikrometr (0,001mm)
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
ED-XRF	energieově disperzní rentgenová fluorescence
ELC	Electrostatic Liquid Cleaning, elektrostatické čištění kapalin
FT-IR	Fourierova transformace infračervená (spektroskopie)
g	gram (0,001 kg)
kg	kilogram, jednotka hmotnosti
kN	kilonewton (1000 N), jednotka síly
l	litr, jednotka objemu
mg	miligram (0,001 g)
mgKOH/g	jednotka čísla kyselosti
ml	mililitr (0,001 l)
mm	kinematická viskozita
PA6	polyamid 6
PA66	polyamid 66
PC	polykarbonát
PE	polyethylen
POM	polyoxymethylén
PP	polypropylen
ppm	Parts per milion, jedna miliontina celku
PS	polystyren
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
SAN	styren-acrylonitril
TPU	Thermoplastic polyurethane

1 Úvod

Na základě požadavků strojírenské firmy D&R Plast s.r.o. je náplní této bakalářské práce zjistit současný stav vybraných vstřikovacích lisů a zjištění výhodnosti použití regenerace resp. filtrace hydraulických olejů pomocí elektrostatického čištění, která prováděla jedna nejmenovaná externí firma. Pomocí několika laboratorních zkoušek budou provedeny rozборы u celkem tří lisů pro zpracování plastových výrobků. Srovnávány budou vzorky hydraulického oleje před elektrostatickým čištěním a po čištění. Tím se docílí výsledku, zda se elektrostatické čištění u těchto strojů vyplatí, nebo ne. Dále bude pomocí zkoušek zjištěno, v jakém aktuálním stavu se stroje nachází. Na základě těchto poznatků navrhnu doporučení, jak o vybrané stroje pečovat, případně navrhnu další doporučující kroky, které firmě D&R Plast s.r.o. pomohou, lépe se starat o svá zařízení. Tyto výsledky a doporučení budou pro firmu rozhodující v péči o hydraulický olej jejich strojů. Pokud by se nebral ohled na péči o hydraulický olej, mohlo by dojít k odstavení strojů. To by pro firmu bylo, z hlediska ekonomiky, velice nevýhodné.

V první části bakalářské práce popíšu konstrukci vstřikovacích lisů a jejich fungování a teoretické poznatky z oblasti diagnostických zkoušek hydraulického oleje. V druhé části se budu zabývat vyhodnocením zkoušek a návrhem dalších postupů pro zlepšení chodu strojů a jejich průběžnou kontrolu. Vyhodnocení aktuálního stavu sledovaných strojů je důležité, aby firma měla představu, v jakém stavu se stroje nachází. Na základě těchto výsledků mohu doporučit interval kontrolních měření, případně dalších opatření, pro správný chod strojů.

Toto téma jsem si vybral z důvodu zajímavosti o efektivitu elektrostatického čištění. Zajímá mě, zda se tato metoda ekonomicky vyplatí a jak je v praxi efektivní z hlediska regenerace hydraulického oleje.

2 Firma D&R Plast s.r.o.

Tato česká strojírenská firma se sídlem a výrobní halou v Bělé pod Pradědem se již od roku 1993 zabývá výrobou plastových výrobků pomocí technologie vstřikování termoplastů. Firma dokáže vyrábět různé plastové výrobky od malých sérií, různých barev a provedení, až po statisícové série. Výroba je omezena hmotností výrobku a to v rozmezí od 0,5 g do 300 g. Zejména se firma zaměřuje na výrobu v oblasti elektrotechnického a strojního průmyslu, ale také spotřebního průmyslu. V první kategorii se tedy jedná o výrobu nejrozličnějších dílů pro elektromotory, automobily a elektroniku. V kategorii spotřebního průmyslu jde o výrobky na jízdní kola, podložky pod profily, tepelně izolační talířky, díly lyžařského vázání a jiné drobné výlisky. [1]



Obrázek 1-Technické výrobky 3



Obrázek 2-Spotřební výrobky [1]

2.1 Firemní stroje a materiály

Výroba technologií vstřikování termoplastů je v poslední době velmi rozšířená. Je to laciný a rychlý způsob výroby. Je však důležité myslet na to, že tato výroba se vyplatí až u většího počtu vyráběných kusů. Důvodem jsou vysoké pořizovací náklady na výrobu forem. K výrobě je zapotřebí vstřikovacích lisů, které jsou jednoduché pro obsluhu a zpravidla je obsluhuje jeden člověk. Firma disponuje vstřikovacími lisy, které jsou pro přehlednost uvedeny v Tabulce 1.

Tabulka 1 - Vstřikovací lisy firmy D&R Plast s.r.o. [1]

Typ lisu	uzav.síla (t)	max. velikost výlisku cm ³	vzd.mezi sloupky (mm)	Počet strojů	Označení stroje
ARBURG 270-90 - 350	35	38	270 x 270	1	L1
ARBURG 270-210 -500	50	82	270 x 270	1	L2
ARBURG 305-230 -700	70	82	305 x 140	1	L3
Ferromatik Klöckner F60	60	78	320 x 320	1	L4
Ferromatik Milacron K 140	140	290	500 x 500	1	L5
SELEX NE 55	55	85	310 x 310	1	L7
Engel ES 80/35	35	46	260 x 260	1	L8
CS 195/100	100	128	340 x 275	1	L9

Z označení stroje lze vyčíst některé důležité parametry. Jde především o uzavírací sílu, která se nejčastěji uvádí v tunách a velikost zdvihu mezi sloupky stroje.

Termoplastický materiál, který firma používá je ve formě granulátu. Tento granulát musí být před samotným použitím v lisech důkladně vysušen. Důvodem sušení je, že

vlhkost obsažená v granulátu by mohla zapříčinit defekty výrobku. Pro výrobu používá firma D&R Plast s.r.o. následující materiály:

- PP, PE
- PS, ABS, SAN
- PA6, PA66
- PC, POM, TPU a další běžné materiály

2.2 Olejové hospodářství

Firma D&R Plast s.r.o. využívá plastické mazivo LV 2-3 u většiny lisů pro mazání vodících sloupků. Hydraulický olej VG 68 se používá u starších lisů s centrálním mazáním, nebo pro mazání kloubů. Plastické mazivo Q8 Oils Rembrandt EP je používáno u lisu L4 pro mazání vodících sloupků a mazací olej Q8 Wagner pro mazání kloubů.

Skládování olejů je v prostorech olejového hospodářství, kde se napráší, v sudech. Maziva se skladují v uzavřených nádobách, kde se nepráší. Mazání se provádí orientačně 1x za půl roku. Problémy s mazáním jsou nepodstatné, větší důraz se ve firmě klade na čištění hydraulických olejů a bezporuchovost hydraulických systémů.

Nádrže u lisů se musí průběžně doplňovat hydraulickým olejem z důvodu netěsnosti systémů. Úkapy se zachytávají do záchytných van a zpracovávají se pro opětovné použití. Hydraulické oleje se po 2-3 letech elektrostaticky čistí u lisů, které jsou nejvíce v provozu. Filtruje se cca 800 l / 5 pracovních dnů. Čištění se provádí za provozu lisů na zapůjčeném zařízení. Olejovou zkouškou se porovná mechanické znečištění oleje před a po čištění. Ekonomika se přesně nevyhodnocuje, ale vzhledem k cenám nových olejů je pro firmu předpoklad, že se čištění ekonomicky vyplatí.

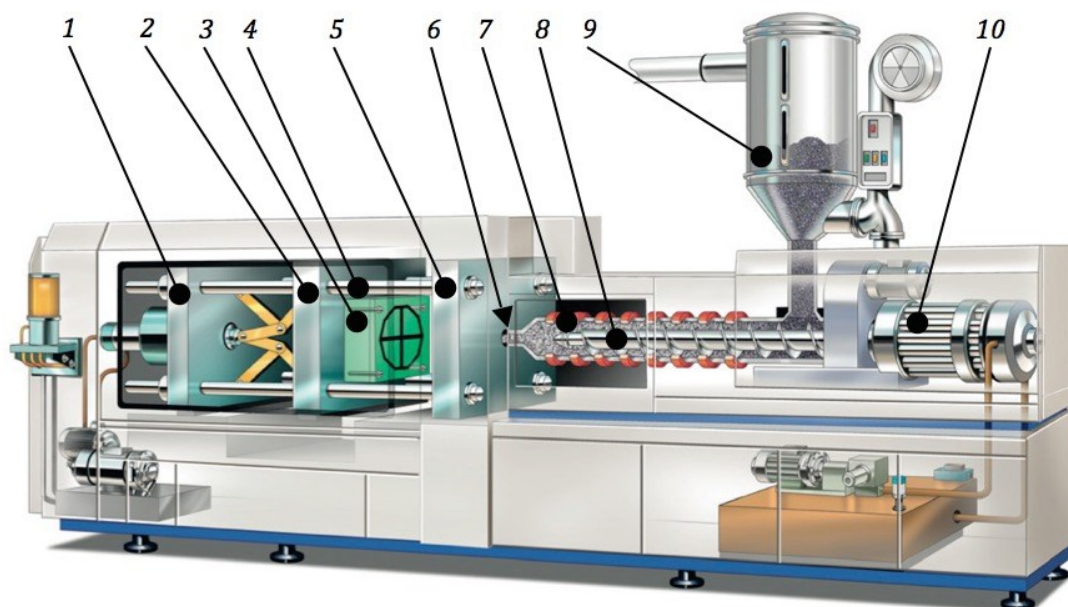
Tabulka 2 - používané hydraulické oleje

Označení stroje	Velikost olejové nádrže [l]	Typ hydraulického oleje
L1	190	Renolin VG 68
L2	200	Renolin VG 68
L3	200	Renolin VG 68
L4	230	Q8 Haydn 46
L5	400	Renolin VG 68
L7	180	Renolin VG 68
L8	150	Renolin VG 68
L9	175	Renolin VG 68

3 Konstrukce vstřikovacího lisu

Základními parametry, kterými se rozlišují jednotlivé stroje je velikost výlisku a velikost uzavírací síly. Uzavírací síla je nejčastěji udávána v tunách, někdy v kN. Tyto parametry značně omezují velikost stroje. Pro pohon pohyblivých částí, zejména pístů, slouží hydraulická soustava poháněna elektromotorem.

Nejrozšířenějším typem v České Republice jsou horizontální vstřikovací lisy s jednou vstřikovací jednotkou a sloupkovým vedením. Existují i lisy bezsloupkové, které však musejí řešit konstrukční problémy s tuhostí. Vstřikovací forma je zpravidla s vertikální dělicí rovinou. Pro dopravu taveniny se používá šnekového dopravníku, dříve se používal píst. Konstrukce těchto zařízení dovoluje snadnou automatizaci stroje, proto většina těchto strojů může pracovat v poloautomatickém, či plně automatickém režimu. Vstřikovací lis obsluhuje nejčastěji jen jeden člověk. Zkráceně se vstřikovacímu lisu říká vstříkolis. [3], [4]



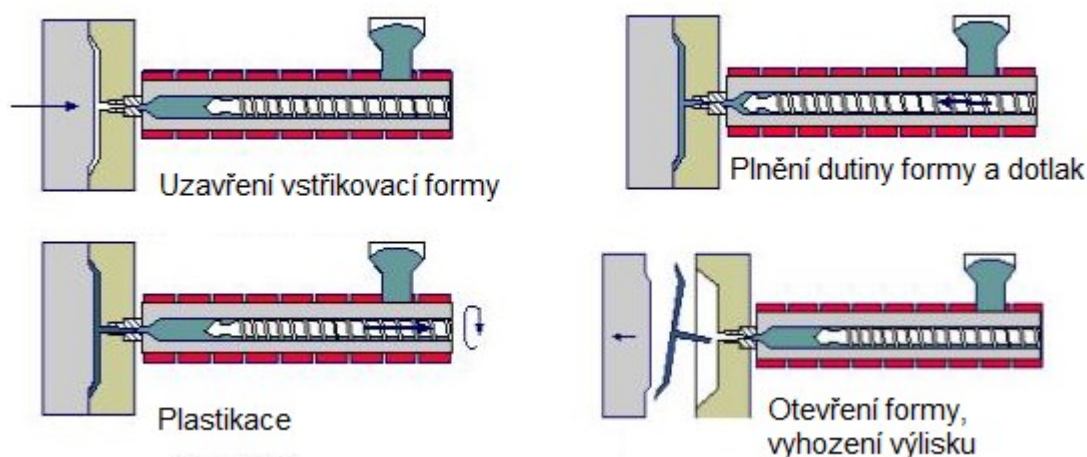
Obrázek 3-Vstřikovací lis [4]

1–uzavírací jednotka, 2–pohyblivá upínací deska, 3–pohyblivá část vstřikovací formy, 4–vodící sloupky, 5–pevná upínací deska, 6–vstřikovací tryška, 7–tavicí komora, 8–šnek, 9–násypka pro plastový granulát, 10–pohonná jednotka šneku

3.1 Vstřikovací jednotka

U prvních vstřikovacích jednotek se používal pro dopravu taveniny píst. Časem byl píst nahrazen šnekovým dopravníkem. Hlavním úkolem vstřikovací jednotky není jen vstřikování taveniny do prostoru formy, ale také doprava plastového granulátu z násypky a jeho následné zahřátí na tavicí teplotu. Teplota, při které se plastový granulát přeměňuje do plastického stavu, závisí na použitém materiálu (150-350°C dle typu plastu). Vstřikovací jednotka je konstruována tak, aby co nejrychleji dopravovala plastovou taveninu a co nejefektivněji zahřívala plastový granulát. Je také kladen požadavek na vysoký vstřikovací tlak během vstřikovacího cyklu.

Cyklus vstřikování je možné prezentovat několika způsoby. Prvním způsobem je se dívat na vstřikovací lis jako na celek (Obrázek 4). Je nutné si určit počátek cyklu. Počátkem se nejčastěji považuje doba, kdy dojde k uzavření vstřikovací formy. [2], [5]



Obrázek 4-Cyklus vstřikování [2]

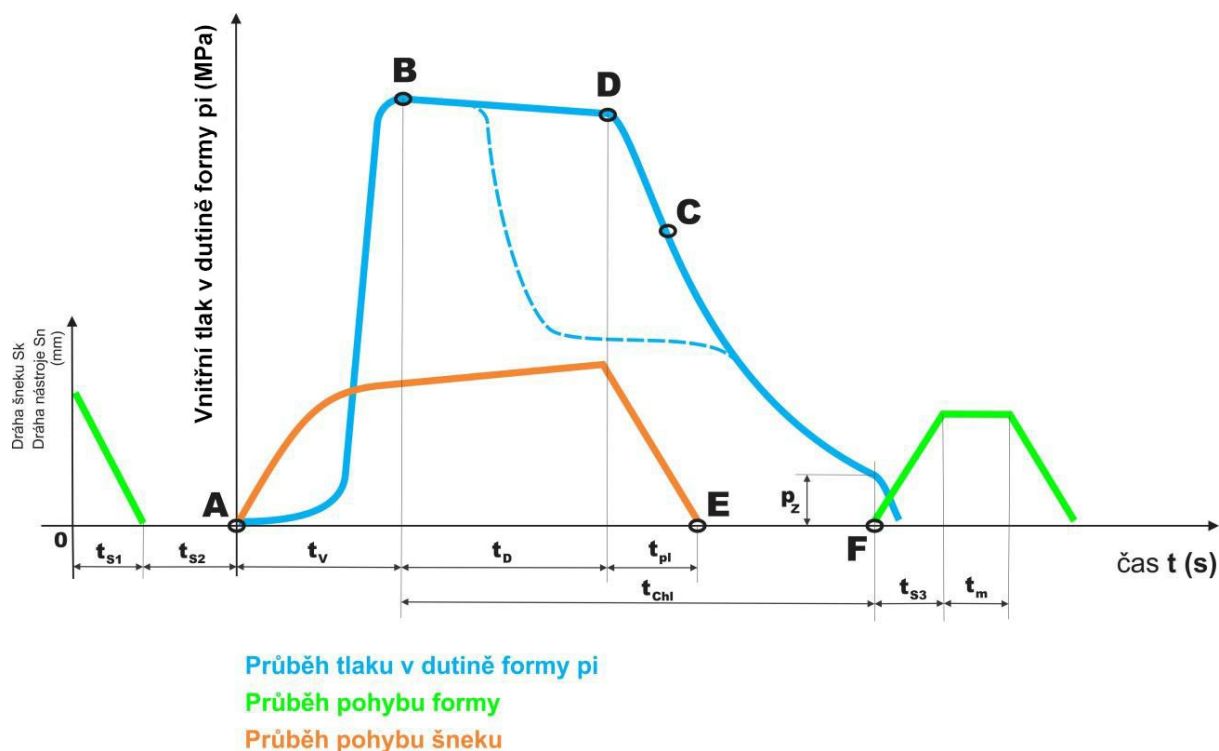
Po uzavření formy patřičnou uzavírací silou, dojde k plnění dutiny formy taveninou. Tavenina je do formy aplikována pomocí šnekového dopravníku, který v tento okamžik pracuje jako píst, koná tedy jen posuvný pohyb. Pro správnou výrobu výtisku je nutné, aby šnekový dopravník, v době po ukončení plnění dutiny formy, zůstal pod tlakem. Tomuto se říká dotlak. Dotlak je nutný z důvodu optimálního zaplnění celého prostoru formy taveninou v době po vstříknutí taveniny. Eliminuje zmenšení rozměrů z důvodu smršťování, ke kterému dochází v době chladnutí. Musí se zajistit optimální velikost a doba působícího tlaku. Příliš velký tlak by způsobil nežádoucí přetoky, protože by přitlačná síla formy neudržela formu uzavřenou. Malý tlak by způsobil ve výrobku vady, jako dutiny, propadliny a staženiny. [2]

Dalším cyklem je plastifikace výtisku. Je to doba, při kterém tavenina předává teplo vstřikovací formě a tím se změní její struktura z tekutého stavu na pevný. Doba plastifikace

je různá, záleží na velikosti výlisku, tloušťce stěn výlisku, na druhu použitého plastového granulátu atd. Tento cyklus je zpravidla časově nejnáročnější. [2]

Po plastifikaci následuje otevření pohyblivé části formy a vyhození hotového výlisku. Výlisek je odebírán, nebo shromažďován na sběrném místě, nejčastěji přímo v prostoru pod formou.

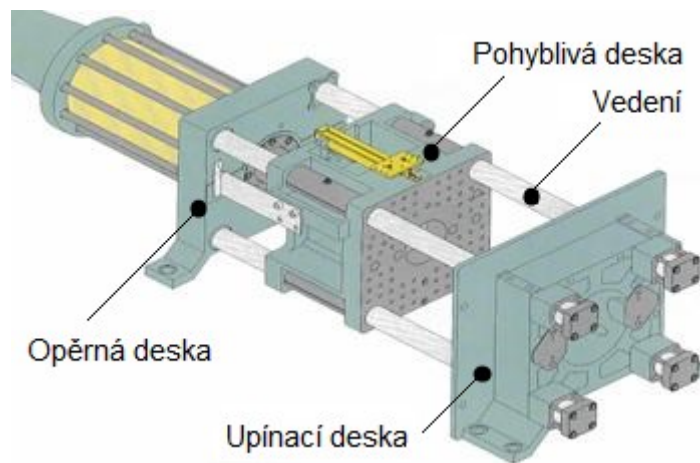
Dále je možné se na vstřikovací cyklus dívat jako na průběh tlaku v dutině formy v závislosti na čase (Obrázek 5).



Obrázek 5-Průběh vnitřního tlaku během vstřikovacího cyklu [5]

3.2 Uzavírací jednotka

Úkolem uzavírací jednotky je pohyb formy. Přesněji řečeno její otevírání a zavírání, ale také umožnění pohybu pro vyhazovací systém. Tato jednotka se skládá z následujících částí: opěrná deska, která je pevně spojena s tělem stroje, pohyblivá deska, na níž se připevňuje pohyblivá část formy a koná hlavní posuvný pohyb, upínací deska, nese pevnou část formy a je opatřena otvorem pro vstřikovací jednotku a vedení pro pohyblivou desku stroje. [2]

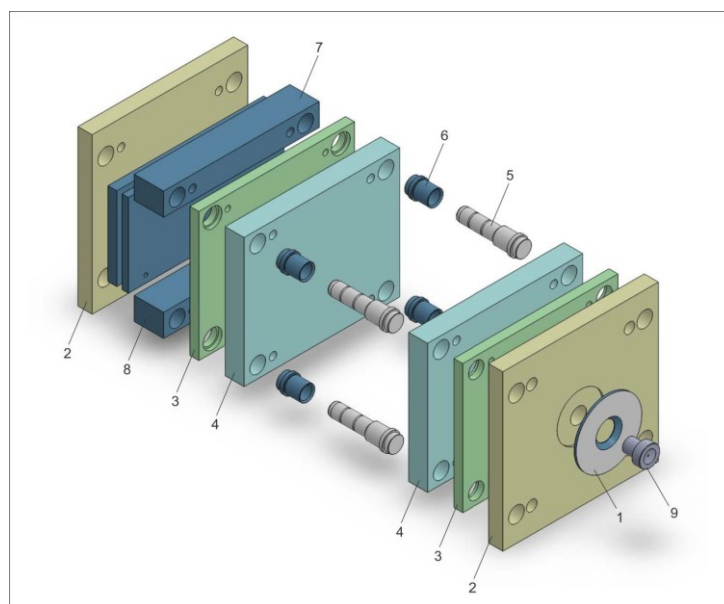


Obrázek 6-Uzavírací jednotka [2]

Uzavírací systémy jsou konstruovány jako mechanické, hydraulické, nebo je použita kombinace mechanické i hydraulické konstrukce. V dnešní době se začíná používat i elektrických systémů. Vstřikovací a uzavírací systém je konstruován nejčastěji v horizontální poloze, kolmo na dělicí rovinu formy. [2], [3]

3.3 Vstřikovací forma

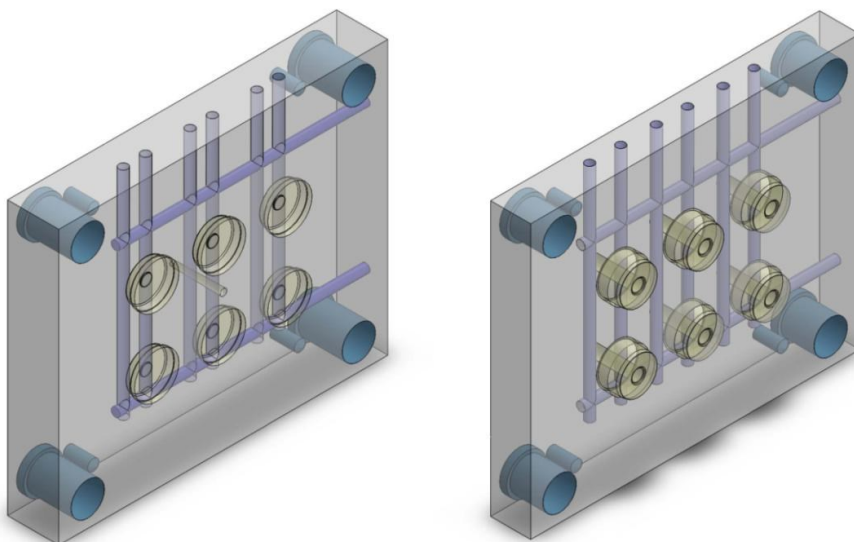
Dle požadovaného tvaru výrobku je vyrobena vstřikovací forma. Vstřikovací forma je velmi finančně nákladná. Je to z důvodu velkých požadavků na pevnost. Forma je k sobě přitlačena velkými tlaky. Kvalita opracování povrchů, koresponduje s kvalitou povrchu vylisku a tepelným zpracováním dotýkajících se ploch. [6]



Obrázek 7-Hlavní části formy [6]

1 – Středící kroužek, 2 – Kotevní desky, 3 – Podkladové desky, 4 – Tvarové desky, 5 – Vodicí sloupky, 6 – Pouzdra vodicích sloupků, 7 – Podkladnice, 8 – Desky vyhazovačů, 9 – Vtoková hlavice

Pevná část formy je připevněna pomocí šroubů na upínací desku uzavírací jednotky a druhá část formy, pohyblivá, je připevněna na pohyblivé desce. Dutina formy je negativem požadovaného vylisku. Dutina je opatřena vtokovou soustavou, která slouží pro rozvod taveniny. Musí být vhodně konstrukčně řešena, zejména pokud se jedná o vícenásobnou formu. Vícenásobná forma je druh formy, která produkuje více kusů v jednom vstřikovacím cyklu. Opakem je jednonásobná forma. Navrhuje se tak, aby bylo možné bezproblémově vstříknout roztavenou hmotu do celé části formy, na druhou stranu se musí brát ohled na hospodárnost výroby. Forma bývá opatřena malými otvory pro únik přebytečného vzduchu. Dále je vstřikovací forma opatřena chladicí soustavou (Obrázek 8). Tato soustava ochlazuje formu. Rozlišujeme dva druhy chlazení. Chlazení během tuhnutí vylisku, plastifikace, a chlazení během otevírání resp. zavírání formy. Rozdíl je především v rychlosti průtoku chladicího média. Nejčastěji se jako chladicí médium používá voda, která může obsahovat různé aditiva např. proti korozi. K chlazení vody se často používá chladicí věž, zejména pokud je centrální nádrž s vodou použita pro více lisů. [2], [6]



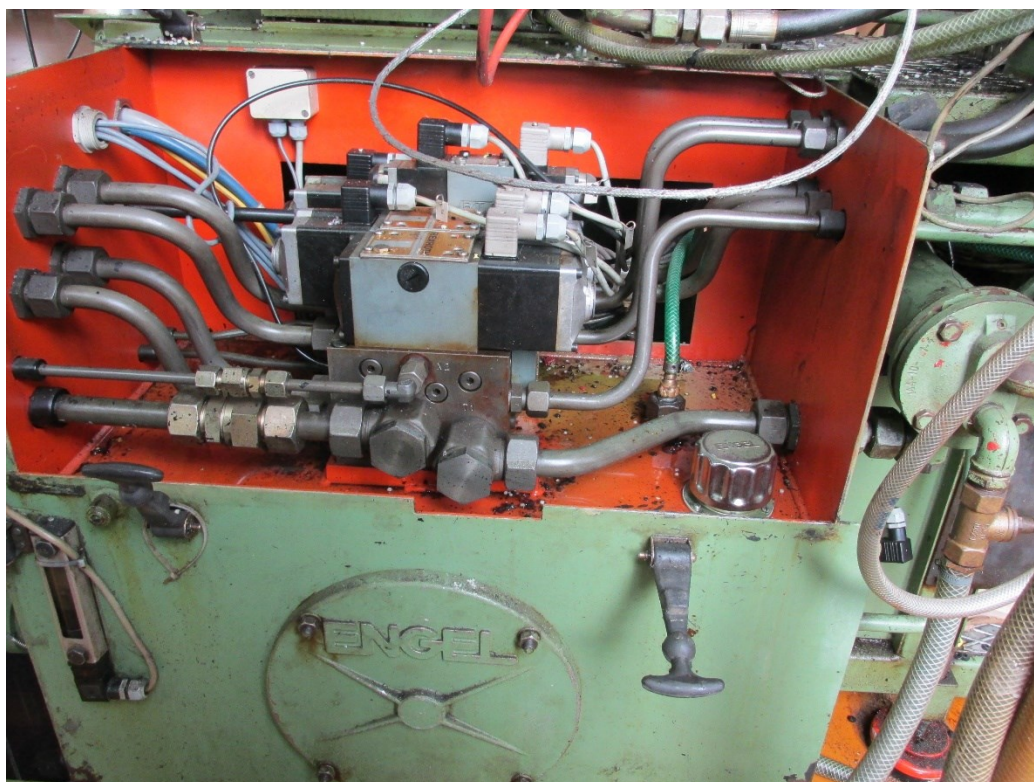
Obrázek 8-Ukázka chladicí soustavy [6]

3.4 Hydraulický obvod

Hydraulické systémy jsou nepostradatelnou součástí konstrukce strojů a zařízení. Slouží k přenosu sil, nebo pohybům částí stroje pomocí kapaliny. V minulosti se používala jako kapalina voda. V dnešní době je voda nahrazena hydraulickým olejem. Hydraulický olej má mnohem lepší fyzikální vlastnosti než voda, nenarušuje tolik správný chod stroje a současně maže části stroje.

Výhodou hydraulických zařízení je snadný rozvod kapalin, rychlá změna pohybu a rychlosti kapaliny, snadné pojištění proti přetížení a možnost automatické regulace činnosti. Nevýhodou těchto obvodů je velká náročnost na přesnost výroby jednotlivých prvků hydraulického obvodu, zajištění čistoty hydraulického oleje a možnost znečištění životního prostředí.

Hydraulický obvod se skládá ze základních hydraulických prvků, které se vzájemně propojují a vytváří tak různé hydraulické mechanismy a zařízení. Každý hydraulický obvod se znázorňuje pro jednoduchost pomocí hydraulického schématu. Hydraulické schéma se kreslí dle normalizovaných značek (DIN ISO 1219, nebo dle ČSN 01 3624). [7]



Obrázek 9-Část hydraulického obvodu

Hydraulický obvod obsahuje tyto základní prvky:

- Zdroj tlakové kapaliny
 - Čerpadlo (hydrogenerátor) - dodává tlakovou kapalinu do hydraulického obvodu.
- Spotřebič tlakové kapaliny
 - Hydromotor – pohání pracovní stroj, nebo zařízení. Hydromotory jsou buď přímočaré (hydraulický válec), nebo rotační (zubový, lamelový).
- Prvky k řízení tlaku a kapaliny
 - Přepouštěcí ventil – přepouští přebytečné množství hydraulické kapaliny a vrací jí zpět do nádrže. Chrání tím hydraulický obvod před přetížením.
 - Redukční ventil – slouží k nastavení požadovaného tlaku v obvodu.
 - Pojistný ventil – plní stejnou funkci jako přepouštěcí ventil.
 - Jednosměrný ventil – umožňuje průtok kapaliny jen v jednom směru. Je někdy označován i jako zpětný ventil.
 - Škrťací ventil – slouží k řízení množství protékající kapaliny.
 - Rozvaděč – slouží k řízení směru a uzavírání toku kapaliny.
- Spojovací a pomocné prvky
 - Potrubí, hadice
 - Zařízení pro úpravu (filtry), shromažďování (nádrže akumulátory) a kontrolu kapalin (hladinoměry, spínače, apod.)

4 Prováděná tribodiagnostická měření

Hydraulické obvody jsou často velmi složité. Je proto nutné udržet celý tento systém v dokonalé formě. Jakékoliv nežádoucí prvky, jako nečistoty a voda, mohou vážně poškodit celý stroj, případně může dojít k pracovnímu úrazu, či ekologické havárii.

Proto je nutné hydraulické oleje strojů pravidelně kontrolovat, nebo vyměňovat. Některé stroje mají přímo v návodu k obsluze nařízeno po jaké době má dojít ke kontrole, nebo výměně olejové náplně. Návod k obsluze také často obsahuje, které hydraulické oleje, či lubrikanty mohou být použity. Při nedodržení těchto zásad, může dojít k poruše stroje.

V této bakalářské práci jsem se zaměřil na laboratorní zkoušky zabývající se měřením viskozity, obsahem vody v oleji, zjištěním čísla kyselosti, určením kódu čistoty a provedení spektrální analýzy. Jelikož v době odběru vzorků se plánovalo na některých vstřikovacích lisech čištění hydraulického oleje pomocí elektrostatického filtrování, využil jsem tedy této příležitosti a zaměřil se na srovnání hydraulického oleje před a po čištění. Výsledky mého měření budou mít pro firmu D&R Plast, s.r.o. přínos zejména v ekonomické oblasti. Mohou lépe naplánovat dobu čištění a snížit tak náklady na provoz vstřikovacích lisů. Taktéž bude firma mít představu o stavu používaných hydraulických olejů.

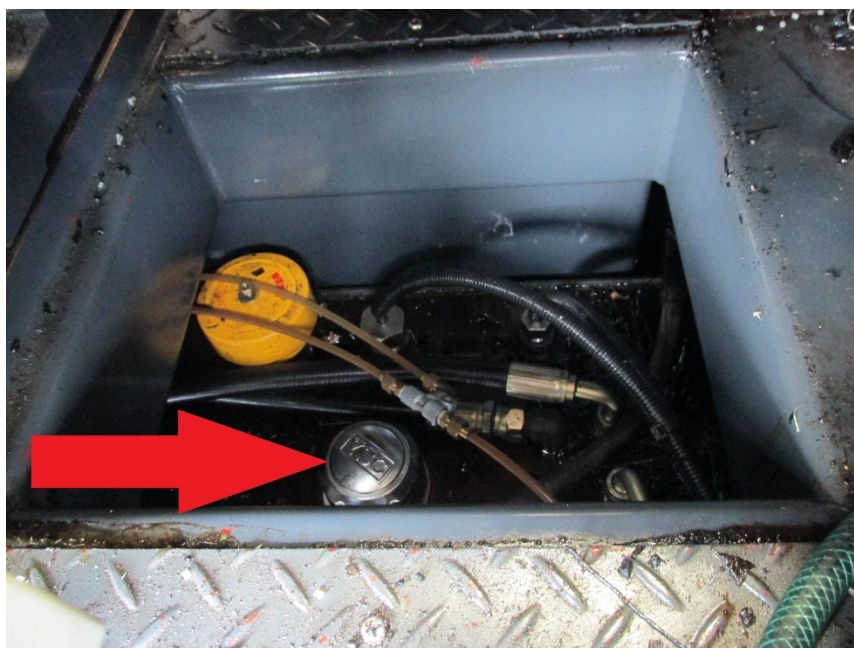
4.1 Odběr vzorku

Odebíráním vzorku hydraulických kapalin se zabývá norma ČSN 65 6207. Je důležité si uvědomit, že odebraný vzorek oleje musí vypovídat o průměrném stavu celé olejové náplně, kterou chceme podrobit laboratorní kontrole. Obecně vzorek oleje odebírá jedna osoba do vzorkovnic o objemu 300 ml. Vzorek se dále popíše a předá k rozboru. Popis vzorku musí být přesný a čitelný.

Před odebráním vzorku oleje je nutné, aby stroj byl nejméně 20 min v provozu. Dojde tak k promísení olejové náplně a zahřátí oleje. Poté se odpouští přibližně 500 ml oleje do vzorkovnice, která musí být před odpuštěním čistá a suchá. Po odpuštění se olej vrací zpět do oběhu. Následně je možné odebrat do vzorkovnice, které jsou propláchnuty, 200-250 ml oleje. Vzorkovnice se nenaplnují celé, aby bylo možné je poté homogenizovat. Místo odběru může být různé, nejčastěji se odebírá přímo z olejové nádrže, nebo je stroj vybaven odběrným místem. K odběru vzorku lze použít přípravky pro odběr oleje. Po odběru vzorku oleje do vzorkovnice, je nutné vzorkovnici patřičně popsat. Popisuje se číslo nebo název stroje, místo odběru, druh maziva, datum odběru a kdo odebíral vzorek. [7]

Vzorky před elektrostatickým čištěním byly odebrány při nečinnosti stroje z hladiny olejové nádrže (Obrázek 10), pomocí injekční stříkačky. Vzorky po elektrostatickém čištění

byly odebrány přímo za zapůjčeného přístroje. Konkrétně z vypouštěcího ventilu, umístěného na přístroji (Obrázek 11).



Obrázek 10-Místo odebrání vzorku oleje před filtrací lisu L4



Obrázek 11 - Odběrné místo přístroje ELC-R50SP

4.2 Kinematická viskozita

Viskozita je rozhodující vlastnost maziva v oblasti hydrodynamického tření, proto patří mezi základní zkušební údaje olejů. Podle viskozity se také oleje rozdělují a vybírají. Změna viskozity je dvojího druhu. Může narůstat, nebo klesat. Za zvyšování viskozity může částečná oxidace oleje, nebo vytvoření emulze oleje s vodou. Snížení viskozity způsobuje tepelná a mechanická degradace aditiv, nebo smíšení s jiným druhem oleje.

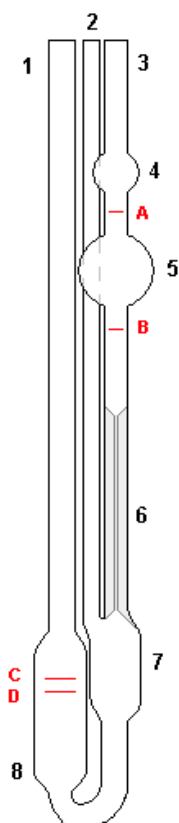
Nízká viskozita způsobí přechod z hydrodynamického tření na tření mezní, nebo suché. Toto může způsobit zvýšené opotřebení, nebo zadření třecích ploch. Příliš vysoká viskozita způsobuje ztrátu energie, protože se zvyšuje koeficient tření.

Kinematickou viskozitu jsem měřil pomocí kapilárního Ubbelohdeho viskozimetru (Obrázek 12) a vypočítal pomocí následujícího vzorce. [7]

$$\nu = c \cdot \tau \text{ [mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

Kde c je konstanta viskozimetru (je uvedena ve zkušebním listě)

τ doba průtoku kapaliny



Obrázek 12-Ubbelohdeho viskozimetr

Princip tohoto kapilárního zařízení je jednoduchý. Olej se do viskozimetru přivádí trubicí č.1 a to v takovém objemu, aby byla hladina oleje mezi ryskami C a D. Před samotným měřením je důležité, aby homogenizovaný olej byl minimálně 20min temperován na teplotu 40°C, nebo 100°C. Já jsem temperoval viskozimetr se vzorky oleje na teplotu 40°C. Zahřívání probíhá v nádobě s vodou. Po zahřátí je olej nasáván trubicí č.3 a to až do poloviny objemu baňky č.4. Během nasávání je nutné mít ucpanou trubicí č.2. Po naplnění baňky č.4 do poloviny jejího objemu se uvolní trubice č.2 a dojde ke snižování hladiny oleje. V době kdy hladina oleje mihne rysku A, spustí se měření času. K měření času jsem využil digitálních stopek. Čeká se až proteče požadované množství oleje, které je dáno objemem baňky č.5. Když hladina oleje mihne rysku B, zastaví se měření doby průtoku oleje. Naměřenou dobu průtoku jsem převedl na hodnotu v sekundách a poté vynásobil tuto hodnotu konstantou viskozimetru. Tímto jsem dosáhl přibližné hodnoty viskozity měřeného oleje při 40°C.

4.3 Hmotnostní obsah vody

Obecně je přítomnost vody v hydraulickém oleji nevhodná. Voda obsažená v oleji může způsobovat korozi, snižuje přítomnost aditiv, zvyšuje viskozitu oleje, způsobuje pěnivost oleje atd. Všeobecně platí přípustná hodnota obsahu vody v oleji 0,2 % hmotnostního obsahu vody. Přítomnost vody lze měřit několika způsoby.

Nejjednodušší způsob je vizuální zkouška. Pokud sledovaný vzorek obsahuje více jak 0,025 % hmotnostního obsahu vody, bude vzorek vykazovat známky zakalení. Pro tuto metodu jsou potřebné zkušenosti.

Další metodou zjištění obsahu vody v oleji je tzv. prskací metoda. Na rozežhátou zkušební plochu se kápne několik kapek vzorku. Rozežhátá plocha by měla mít teplotu cca 180°C. Pokud bude mít vzorek oleje více jak 0,02 % vody, začnou se na kapkách oleje objevovat bublinky. Při vyšším obsahu vody budou kapky vzorku prskat. Tato metoda je vhodná pokud nepotřebujeme vědět přesný obsah vody v oleji, ale postačí nám pouze vědět, že se v oleji nachází větší než stopové množství oleje. Často se můžeme setkat se slangovým označením – žehličková metoda.

Třetí metoda pro zjištění obsahu vody je Coulometrická metoda. Je to velmi přesná metoda pro zjišťování obsahu vody v oleji, vypracoval ji německý chemik Karl Fischer a je podrobně definovaná v ČSN 65 0330. Principem této metody je reagování vody a jódu. Na platinové elektrodě je anodickou oxidací přeměňován jodid na jód. Jeden mol jódu reaguje s jedním molem vody, tím pádem je 1 mg vody ekvivalentní k 10,71A.s. Na přístroji se objeví, po zadání hmotnosti navážky v gramech, hodnota hmotnostního obsahu vody v procentech. Je důležité, aby byl měřený vzorek správně homogenizován. Je také potřeba být trpělivý při průběhu zkoušky, trvá přibližně 10 minut.



Obrázek 13-Coulometr

4.4 Číslo kyselosti

Během degradace oleje vznikají organické kyselé složky. Ty působí korozivně na všechny kovové prvky v soustavě, jsou proto nežádoucí.

Princip zjišťování přítomnosti kyselých látek je založena na coulometrické titraci. Pokud bude námi pozorovaný olej obsahovat kyselé látky, budeme se snažit je neutralizovat pomocí KOH (hydroxid draselný). Přístroj pro zjišťování čísla kyselosti nám tedy určí, kolik bylo potřeba použít mg KOH, aby se sledovaný vzorek neutralizoval od všech kyselých látek. Po dokončení měření nám přístroj vypočítá, kolik miligramů KOH bylo potřeba pro neutralizaci vzorku. Pokud zadáme hmotnost navážky, převede nám přístroj výsledek na mgKOH/g. Tento výsledek nám říká, kolik bylo potřeba mg KOH na zneutralizování 1 g oleje. Celý proces neutralizace probíhá uzavřeně. Díky tomu nám měření nezneškodňuje oxid uhličitý.

4.5 Gravimetrické zjišťování mechanických nečistot

Velké nebezpečí pro hydraulické soustavy jsou pevné nečistoty. Mohou způsobovat erozní opotřebení, v sacích částech způsobují kavitaci a velké nečistoty mohou porušit mazací film a zapříčinit zadírání.

Gravimetrická zkouška pro zjišťování mechanických nečistot je velmi časově náročná. Je nutné důkladně vysušit používané filtry. Před měřením se filtr zváží a poté se dá sušit do pece. Sušení probíhá v peci o teplotě 105°C a trvá půl hodiny. Po sušení v peci, se filtr vloží na půl hodiny do exikátoru a znova se zváží. Tento proces se opakuje do té doby, dokud není rozdíl tří po sobě jdoucích vážení nulový, nebo s maximální odchylkou 0,4 mg. Až poté se může nitrocelulózový filtr s pórovitostí 0,8 μm použít. Pomocí podtlaku se přes filtr přefiltruje zředěný vzorek. Ke zředění vzorku se používá čištěný technický benzín, který neobsahuje žádné pevné nečistoty. Po dokončení filtrace, se provede sušení filtru. Sušení probíhá se stejnými pravidly jako u přípravy. Tři po sobě jdoucí měření hmotnosti musí vyjít v předepsané toleranci. Poté spočítáme hmotnostní rozdíl filtru před a po filtraci. Výsledek vynásobíme stem a dostaneme výsledek v mg/100ml. Tento výsledek nám říká kolik mg pevných nečistot bylo obsaženo ve 100 ml oleje.



Obrázek 14 – Přístroj pro gravimetrickou zkoušku

4.6 Kód čistoty pomocí mikroskopu

Princip této zkoušky je v použití speciálního softwaru, který změří a spočítá počet částic. Částice jsou počítány z filtru, který byl použit u gravimetrické zkoušky. Filtr umístíme pod mikroskop a nastavíme parametry v počítačovém programu. Software nám nasnímkuje filtr a vypočítá počet částic. U mé zkoušky bylo nastaveno 50 snímků. Ty se musely následně zaostřit, případně vyloučit. Program nám poté vyhodnotí výsledný kód čistoty. Taktéž uvede tři hodnoty. První udává počet částic větších než 4 μm , druhé číslo udává počet částic větší než 6 μm a poslední číslo počet částic větší než 16 μm . Tato zkouška je velmi časově náročná.

4.7 Spektrální analýza

Spektrální analýza je optická nedestruktivní analytická metoda, která využívá infračervenou spektrometrii. Patří do skupiny molekulové spektrometrie. Pomocí polohy pásů, můžeme jednoznačně identifikovat většinu sloučenin. V dnešní době se nejčastěji používá infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací - FT-IR (Obrázek 15). Tato metoda se vyznačuje vysokou citlivostí, velkým průchodem energie, ale především vysokým poměrem signálu k šumu. Tato analýza nám umožní získat velmi kvalitní spektrum.



Obrázek 15 - Spektrometr

Postup měření je následovný. Olej se nanese v tenké vrstvě na krystal. Krystal je ze selenidu zinečnatého (ZnSe) a tvoří dno nádobky. Záření, které se odráží od krystalu, proniká vzorkem a to do hloubky 1-2 μm . Odrazů bývá 10-12. Vzorek přitom absorbuje záření vlnových délek, těch molekulárních složek, které jsou obsažené ve vzorku. Analýza je velmi rychle dokončena. Trvá méně než 1 min. Můžeme pomocí ní stanovit nitračních, oxidačních a sulfatačních produktů, úbytek přísad, obsah vody a glykolů, obsah paliva a obsah karbonu. Po každém měření je nutné povrch krystalu důkladně očistit. Otře se papírovým kapesníkem a poté očistí organickým rozpouštědlem. [7]

4.8 Rentgenová spektrometrie

Rentgenové spektrometry pracují na principu energiově disperzní rentgenové fluorescence, zkráceně ED-XRF (Obrázek 16). Tato metoda je nedestruktivní a je spolehlivá. Využívá se pro zjišťování přítomnosti ořezových kovů. Nevyžaduje žádnou, nebo jen velice malou přípravu vzorků. Metoda je vhodná pro pevné, kapalné a sytké skupenství vzorků. Může se použít pro široký rozsah prvků od sodíku (11) po uran (92) a pracuje s limity detekce na úrovni ppm.

Množství přítomných prvků je určeno měřením intenzity jeho charakteristické vlnové energie. Všechny atomy mají stálý počet elektronů (záporně nabitá částice) uspořádaných v orbitech okolo jádra. Počet elektronů v daném atomu je rovný počtu protonů (kladně nabitá částice) v jádře. Počet protonů je udáván Atomovým číslem v periodické tabulce prvků. Každému prvku je přiřazeno atomové číslo, jako například železo (Fe) s atomovým číslem 26. Každý elektronový orbit odpovídá specifické a unikátní energetické úrovni pro daný prvek.

Foton rentgenového záření emitovaný ze zdroje (rentgenky) udeří do vzorku. Tento foton má dostatečnou energii k vyražení elektronu. Elektrony hledají stabilitu, proto se elektron z vnějšího orbitu přesune do nově neobsazeného místa ve vnitřním orbitu. Jakmile se elektron z vnějšího orbitu přesune do vnitřního orbitálního prostoru, emituje energii známou jako foton sekundárního rentgenového záření. Tento jev se nazývá fluorescence. Produkované fluorescenční rentgenové záření je charakteristické pro specifické prvky. Energie emitovaného fotonu rentgenového záření je určena rozdílem energií mezi počátečním a finálním orbitem jednotlivého přechodu. [16]



Obrázek 16 - Rentgenový spektrometr

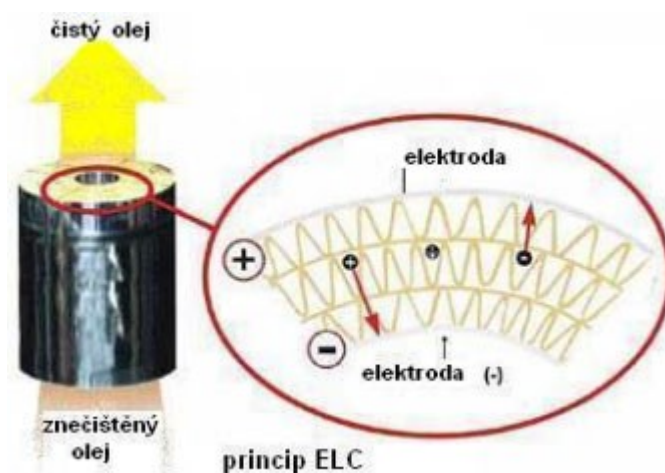
5 Elektrostatické čištění

ELC - Electrostatic Liquid Cleaning, též elektrostatické čištění kapalin, se dívá na otázku filtrace nečistot pouze z elektrického hlediska. Proto je nutné si rozdělit nečistoty na 3 kategorie:

- elektricky kladně nabité částice
- elektricky záporně nabité částice
- elektricky neutrální částice

Jako základní principy, na kterých pracují elektrostatické přístroje, jsou dva obecně nazývané jevy elektroforéza a dielektroforéza. Tyto jevy jsou založeny na Coulombově zákoně. Elektroforéza je jev, kdy pozitivně a negativně nabité částice v kapalině jsou přitahovány k elektrodám s opačnými náboji (Obrázek 17).

Pokud vložíme dielektrický materiál mezi elektrody, dojde k deformaci elektrostatického pole a vytvoření oblasti s největší intenzitou. Elektrostatické pole poté působí na všechny druhy nerozpustných částic v oleji. Tento jev je nazýván dielektroforézou.



Obrázek 17-Detail ELC čištění 13

Zařízení pro elektrostatické čištění olejů sestává z nádoby, v níž jsou elektrody a tzv. kolektory, vhodně tvarované vložky, nejčastěji ve tvaru válce, na nichž se usazují částice působením elektrických sil. Dále samostatným hydrogenerátorem, který se stará o průtok kapaliny. Je tedy možné používat tento přístroj i během provozu čištěného stroje (bypass). A řídicí jednotky, která slouží k ovládání přístroje.



Obrázek 18-ELC-R50SP [10]

Pomocí elektrostatického čištění se prodlužuje životnost používaného oleje. Velkou část negativních prvků v olejích tvoří produkty stárnutí oleje a mechanické nečistoty. Ty lze touto metodou snadno odstranit a prodloužit tak provozuschopnost hydraulického oleje. Je důležité také podotknout, že elektrostatické čištění může odstraňovat z olejů přidaná aditiva, čímž olej ztrácí svou použitelnost. [8], [9]

Použitý přístroj s označením ELC-R50SP (Obrázek 18) dokáže filtrovat hydraulický olej s rychlostí až 9 l/min. Jelikož je přístroj připojen ke stroji z nádrže do nádrže, je nutné, aby bylo provedeno několikanásobné pročištění celkového objemu olejové náplně. Celkově by měl obsah olejové náplně projít přístrojem alespoň pětkrát, pokud je stroj v provozu.

6 Výsledky měření

Sledovanými stroji byly následující vstřikovací lisy uvedené v tabulce 3. Úkolem bylo zjistit aktuální stav hydraulického oleje. Dále bylo úkolem zjistit, zda je vhodné čistit tyto hydraulické oleje pomocí elektrostatického čištění a jak hospodárně vychází tato metoda regenerace hydraulického oleje.

Tabulka 3 – seznam vstřikovacích lisů

Název lisu	Označení vzorku	Druh oleje
Ferromatik Klöckner F60	L1	Renolin VG 68
Engel ES 80/35	L3	Renolin VG 68
SELEX NE 55	L4	Q8 HAYDN 46

6.1 Výsledek kinematické viskozity

Výsledky jsou porovnávány s referenčními hodnotami z technických listů. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4 – referenční hodnoty kinematické viskozity

Název hydraulického oleje	Kinematická viskozita [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
Renolin VG 68	67
Q8 HAYDN 46	46

Tabulka 5 – naměřené hodnoty kinematické viskozity

Název vzorku	Kinematická viskozita [$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]
L1 před filtrací	53,15
L1 po filtraci	47,30
L3 před filtrací	60,44
L3 po filtraci	60,38
L4 po filtraci	46,80

Z výsledků je patrné, že lis L1 je úplně mimo povolenou toleranci viskozity. Pravděpodobně dochází u tohoto lisu ke ztrátám z důvodu netěsnosti systému. Na základě toho byl doléván nesprávný olej, pravděpodobně olej Q9 Haydn 46, který po smíchání s olejem Renolin VG 68 snižuje kinematickou viskozitu. Totéž platí i u lisu L3, kinematická viskozita není v povolené toleranci. Opět je možné, že i zde se jedná o směs dvou olejů s různou kinematickou viskozitou. Poslední vzorek L4 je v patřičné toleranci, považují ho tedy za správný.

6.2 Výsledek obsahu vody v oleji

Tabulka 6 – naměřené hodnoty hmotnostního obsahu vody

Název vzorku	Hmotnostní obsah vody v [%]
L1 před filtrací	0,0055
L1 po filtraci	0,0062
L3 před filtrací	0,0076
L3 po filtraci	1,1549
L4 po filtraci	0,0148

Vzorky L1 a L4 označují jako vyhovující z hlediska obsahu vody. To se však nedá říct o vzorku L3 po filtraci. Zde je naměřeno velmi vysoké procento obsahu vody v oleji. Takto velká kontaminace je pro lis velmi nebezpečná. Je zde vysoká pravděpodobnost poškození stroje. Vysvětlení pro tak vysoký obsah vody v hydraulickém oleji může být únik chladicí kapaliny, která se používá pro chlazení hydraulického oleje.

6.3 Výsledky čísla kyselosti

Tabulka 7 - naměřené hodnoty čísla kyselosti

Název vzorku	Číslo kyselosti [mgKOH/g]
L1 před filtrací	0,385
L1 po filtraci	0,565
L3 před filtrací	0,157
L3 po filtraci	0,157
L4 po filtraci	0,273

Hodnoty kyselosti jsou číselně v pořádku. Drobné zvýšení u vzorku L1 po filtraci může být způsobeno dolitím nevhodného oleje, které může mít vyšší koncentraci kyselých složek.

6.4 Výsledek mechanických nečistot

Tabulka 8 - naměřené hodnoty mechanických nečistot

Název vzorku	Množství mechanických nečistot [mg/100ml]
L1 před filtrací	5,4
L1 po filtraci	24
L3 před filtrací	10,6
L3 po filtraci	22
L4 po filtraci	45,4

Odběr vzorků před čištěním jsem prováděl z horní části nádrže při vypnutém lisu. Vzorky po elektrostatickém čištění jsem odebíral za provozu čerpadla ELC při vypnutém lisu. Jelikož se mechanické nečistoty usadily během nečinnosti stroje, obsahuje vzorek před čištěním vždy menší množství mechanických nečistot, než po elektrostatickém čištění. Z toho je patrné, že nejvíce mechanických nečistot se nachází na dně nádrže a to i po provedeném elektrostatickém čištění oleje. Firma, která provádí čištění po 2 až 3 letech ve společnosti D&R Plast odebírá vzorky před a po čištění většinou za provozu lisu, tím dochází k promísení těžkých nečistot ze dna nádrže.

6.5 Kód čistoty

Tabulka 9 - naměřené hodnoty kódu čistoty

Název vzorku	Kód čistoty dle ISO 4406/99
L1 před filtrací	17/16/13
L1 po filtraci	17/16/14
L3 před filtrací	21/19/16
L3 po filtraci	19/18/13
L4 po filtraci	22/21/17

Povolená hranice u hydraulických olejů je maximálně 17. Lis L1 je tedy přesně na povolené toleranci. Lisy L3 a L4 jsou za touto hranicí. U těchto lisů je velmi vysoké nebezpečí poškození stroje.

6.6 FT-IR spektrometrie

Vzorky byly porovnány jako pár (Příloha 6, Příloha 8) – před čištěním a po čištění. U vzorků L1 si můžeme všimnout, u pásma 1600 úbytku dusíkatých sloučenin. To je pravděpodobně způsobeno smícháním dvou různých hydraulických olejů. U druhého páru vzorků ze stroje L3 je u pásma 1700 patrný nárůst oxidačních produktů. To je způsobeno kontaminací vody, pravděpodobně z chladicího systému hydraulického oleje. Obsah vody je viditelný v pásmu 1670 – 1800. Pokud se zaměřím ještě na pásmo 1070 – 1080 u vzorku L3 po filtraci, můžeme vidět přítomnost alkoholu. Toto mohla zapříčinit voda, která může obsahovat právě zmiňovaný alkohol, který se používá buď jako prevence proti zamrznutí, nebo jako inhibitor koroze. U páru vzorků L3 je ještě patrné posunutí v oblasti 900 - 700, které taktéž mohla zapříčinit voda.

6.7 Závěry z provedených měření

Pomocí Ubbelohdeho viskozimetru jsem zjistil, že hydraulické oleje v lisu L1 a L3 jsou mimo kritickou hodnotu, která byla stanovena jako $\pm 10\%$ z referenčního vzorku (tabulka 4). U těchto strojů došlo během provozu ke smísení dvou různých hydraulických olejů, s různou kinematickou viskozitou. Pouze vzorek L4 po filtraci byl v povolené hodnotě. Pomocí zkoušky pro zjištění obsahu vody v oleji Coulometrickou metodou jsem zjistil u vzorku L3 po filtraci, velmi vysokou kontaminaci vodou. Kontaminování vodou mohlo dojít netěsností buď chladicího systému vstřikovací formy, nebo chladicího systému hydraulického oleje. Ostatní vzorky byly v povolené oblasti 0,2 % hmotnostního obsahu vody (tabulka 6). Čísla kyselosti všech měřených vzorků, měřené coulometrickou metodou, jsou v povolené toleranci. Drobné zvýšení u vzorku L1 po filtraci mohlo zapříčinit dolití jiného druhu oleje. Z výsledků mechanických nečistot (tabulka 8) je patrné, že pokud je vzorek odebrán během nečinnosti stroje, dojde ke zkreslení výsledků. Je to způsobeno usazením mechanických nečistot na dno olejové nádrže. Pokud jsem odebral vzorek po čištění, došlo k částečné homogenizaci oleje a tím i k přesnějšímu výsledku. I po použití přístroje pro regeneraci hydraulického oleje je patrné velmi vysoké množství mechanických nečistot. S největší pravděpodobností je celá olejová nádrž zanesená kalem a mechanickými nečistotami. Kódy čistoty vyšly u vzorku L1 těsně k povolené hranici použitelnosti hydraulického oleje. Ostatní vzorky byl za touto hranicí. U FT-IR metody byly porovnávány páry vzorku před a po filtraci oleje (příloha , příloha). U lisu L1 byl zjištěn úbytek dusíkatých sloučenin, to mohlo být způsobeno smícháním dvou různých hydraulických olejů. U druhého páru vzorků, lisu L3, byla zjištěna kontaminace vodou. Důkazem je pásmo 1670 – 1800, kde se nachází voda. Jelikož byl vzorek kontaminován vodou, objevily se v pásmu 1700 i oxidační produkty. Mírné posunutí v pásmu 900 – 700 bylo taktéž způsobeno obsahem vody ve vzorku.

7 Závěr

Závěrečná práce se zabývá tribodiagnostikou vstřikovacích lisů. Krátce jsem představil firmu D&R Plast s.r.o. ve které se lisy nacházejí. Obecně jsem popsal základní prvky vstřikovacího lisu, jeho fungování a důležitost hydraulického systému. Práce obsahuje jak výsledky laboratorních měření, tak i teoretické postupy průběhu měření.

V závěrečné práci došlo k rozboru celkem 5 vzorků. U lisu L1 a L3 byl proveden rozbor před a po elektrostatickém čištění. U lisu L4 pouze po elektrostatickém čištění. Změřené hodnoty byly porovnány s referenčními hodnotami z technických listů.

Z naměřených hodnot je patrné, že se musí dodržovat správná metodika při odběru vzorku. Při nedodržení může dojít ke zkreslení výsledků z důvodu špatné homogenizace olejové náplně stroje. I tak jsou výsledky velmi znepokojující. Bylo zjištěno, že lis L1 a L3 neobsahuje správný typ hydraulického oleje a čistota oleje je taktéž na mezi použitelnosti. Dále byla u vzorku L3 po filtraci zjištěna kontaminace vodou. To mohla způsobit netěsnost chladicího systému. Pouze vzorek L4 po filtraci byl v přípustné toleranci kinematické viskozity. Na základě těchto měření doporučuji firmě kompletně vypustit hydraulický olej ze všech měřených strojů. Dále provést důkladné vyčištění olejové nádrže a proplach celého stroje čistým hydraulickým olejem. Následně stroj naplnit opět novým hydraulickým olejem.

Jelikož firma D&R Plast s.r.o. neprovádí žádné preventivní kontroly hydraulických olejů, doporučuji po výměně olejové náplně provádět pravidelné kontroly. Vhodným řešením by bylo zřídit speciální místnost pro provádění kontroly olejů a také proškolení zaměstnance, který bude preventivní kontroly provádět. Interval preventivních kontrol navrhuji, po výměně olejové náplně a pročištění celého stroje, každé 2 měsíce. Pokud po půl roce budou výsledky v povolených intervalech, může se preventivní kontrola provádět jednou za půl roku. Na základě těchto preventivních prohlídek se může firma rozhodnout, zda využije regeneraci hydraulického oleje, kterou provádí externí firma nebo dojde k výměně celé olejové náplně stroje. Dále, jelikož došlo k záměně hydraulického oleje, by bylo vhodné barevně odlišit používané hydraulické oleje dle viskozity. V poslední řadě je také důležité věnovat pozornost i chladícím systémům stroje, především kontrolovat jeho těsnost.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *D&R Plast, s.r.o.* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.drplast.cz/>
- [2] Technická univerzita Liberec. [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04.htm
- [3] Konstruční provedení vstřikovacích lisů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/konstrucni-provedeni-vstrikovacich-lisu.html>
- [4] *VSTŘIKOVACÍ FORMY PRO ZPRACOVÁNÍ TERMOPLASTŮ* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/01.html>
- [5] *Technologie vstřikování plastů* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/03.html>
- [6] Tváření plastů a výroba forem II.: Výroba forem pro vstřikování termoplastů. *14220* [online]. 2014 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/tvareni-plastu-a-vyroba-form-ii/>
- [7] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost. I, Tribodiagnostika*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. ISBN 80-7078-883-6.
- [8] *KLEENTEK: Odstraňování nečistot* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: http://www.kleentek.info/page.php?reference_name=odstranovani_necistot
- [9] *MM Průmyslové spektrum: Moderní metody čištění hydraulických olejů* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-metody-cisteni-hydraulickych-oleju.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1-Technické výrobky [1]	10
Obrázek 2-Spotřební výrobky [1]	10
Obrázek 3-Vstřikovací lis [4]	13
Obrázek 4-Cyklus vstřikování [2]	14
Obrázek 5-Průběh vnitřního tlaku během vstřikovacího cyklu [5]	15
Obrázek 6-Uzavírací jednotka [2]	16
Obrázek 7-Hlavní části formy [6]	16
Obrázek 8-Ukázka chladicí soustavy [6]	17
Obrázek 9-Část hydraulického obvodu	18
Obrázek 10-Místo odebrání vzorku oleje před filtrací	21
Obrázek 11 - Odběrné místo přístroje ELC-R50SP	21
Obrázek 12-Ubbelohdeho viskozimetr	22
Obrázek 13-Coulometr	24
Obrázek 14 – Přístroj pro gravimetrickou zkoušku	26
Obrázek 15 - Spektrometr	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 16 - Rentgenový spektrometr	29
Obrázek 17-Detail ELC čištění 13	30
Obrázek 18-ELC-R50SP [10]	31

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Vstřikovací lisy firmy D&R Plast s.r.o. [1]	11
Tabulka 2 - používané hydraulické oleje.....	12
Tabulka 3 – seznam vstřikovacích lisů	32
Tabulka 4 – referenční hodnoty kinematické viskozity	32
Tabulka 5 – naměřené hodnoty kinematické viskozity	32
Tabulka 6 – naměřené hodnoty hmotnostního obsahu vody.....	33
Tabulka 7 - naměřené hodnoty čísla kyselosti	33
Tabulka 8 - naměřené hodnoty mechanických nečistot	34
Tabulka 9 - naměřené hodnoty kódu čistoty	34

Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1 – Výstupní list vzorku L1 před filtrací

Příloha 2 – Výstupní list vzorku L1 po filtraci

Příloha 3 – Výstupní list vzorku L3 před filtrací

Příloha 4 – Výstupní list vzorku L3 po filtraci

Příloha 5 – Výstupní list vzorku L4 po filtraci

Příloha 6 – FT-IR spektrometrie vzorku L1 před a po filtraci

Příloha 7 – FT-IR spektrometrie vzorku L1 před a po filtraci, detail na aditiva

Příloha 8 – FT-IR spektrometrie vzorku L3 před a po filtraci

Příloha 9 – FT-IR spektrometrie vzorku L3 před a po filtraci, detail na aditiva

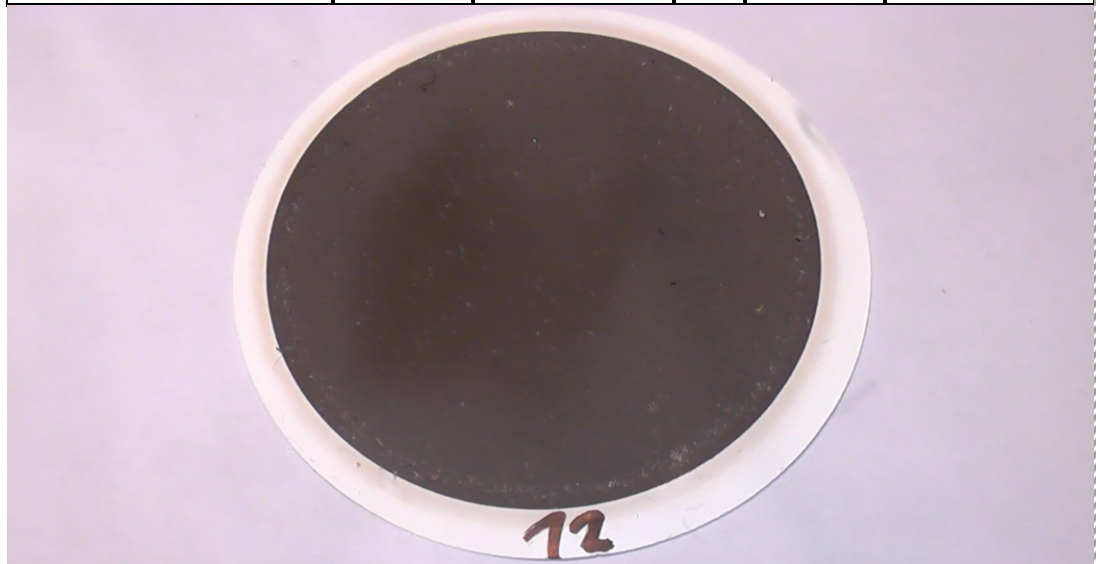
Strojní zařízení			VZOREK				
L1 před filtrací			Číslo				
			Typ oleje		WG68		
			Název		Renolín		
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51517		
Název			Specifikace ISO		6743/6		
Typ-číslo stroje			Specifikace SAE				
výrobní číslo			Jiná specifikace				
Strojní uzel							
Množství provozní náplně		190 litrů	Místo odběru		olejová nádrž		
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí				
Doba provozu celkem			Dodal:				
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování		2.5.2016		
VÝSLEDKY ZKOUŠEK							
Parametr kvality		Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
				min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C		mm²/s	ČSN EN ISO 3104	61,2		74,8	53,15
TAN (Č. kyselosti)		mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1,1	1,3	0,385
Obsah vody		hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0055
Mechanické nečistoty		mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	5,4
Kód čistoty		-	ČSN ISO 4406		21/18/15		17/16/13
Prvková analýza ED-XRF					výstr.	max.	hodnota
obsah Fe		ppm (mg/kg)	metodika		25	50	5,2
obsah Cu					20	30	8,9
obsah Cr					12,5	15	8,8
obsah Sn						15	
obsah Si					20	40	
Aditiva, degradace					nový	hodnota	
obsah S		ppm (mg/kg)	metodika			5803	
obsah P						454,2	
obsah Mg							
obsah Mo							
obsah Zn						332,3	
obsah Ca							



Strojní zařízení		VZOREK				
L1 po filtraci		Číslo				
		Typ oleje	WG68			
		Název	Renolin			
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ		Specifikace DIN	51517			
Název		Specifikace ISO	6743/6			
Typ-číslo stroje		Specifikace SAE				
výrobní číslo		Jiná specifikace				
Strojní uzel						
Množství provozní náplně	190 litrů	Místo odběru	olejová nádrž			
Doba provozu od posl. výměny		Datum převzetí				
Doba provozu celkem		Dodal:				
V průběhu provozu doplněno		Datum vypracování	2.5.2016			
VÝSLEDKY ZKOUŠEK						
Parametr kvality	Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	61,2		74,8	47,3
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1,1	1,3	0,565
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0062
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	24
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406		21/18/15		17/16/14
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		25	50	5,7
obsah Cu				20	30	10,9
obsah Cr				12,5	15	8,3
obsah Sn					15	
obsah Si				20	40	
Aditiva, degradace					nový	hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika			5174	
obsah P					536,3	
obsah Mg						
obsah Mo						
obsah Zn					401,2	
obsah Ca						

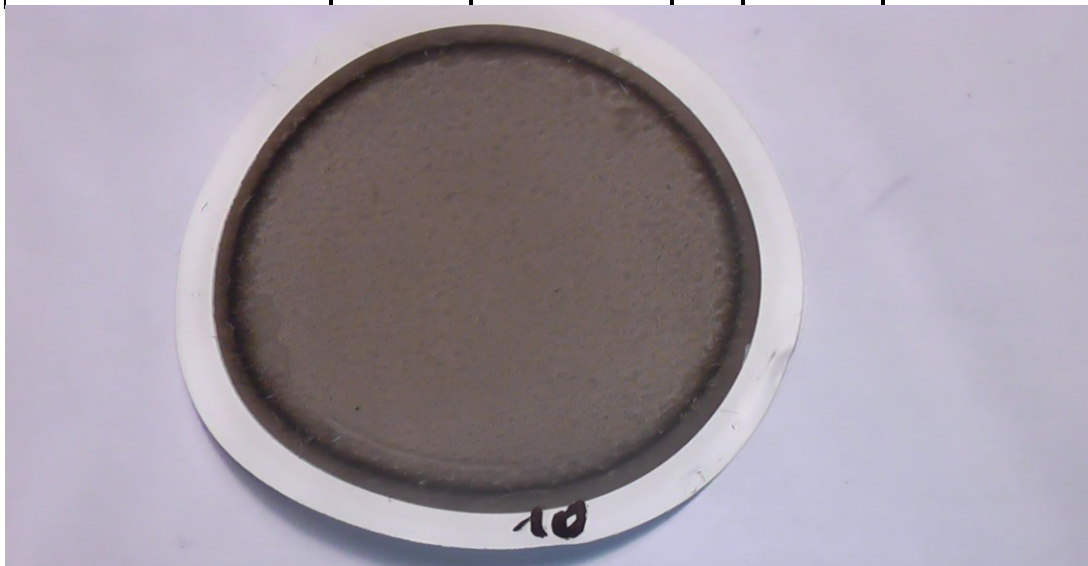


Strojní zařízení			VZOREK				
L3 před filtrací			Číslo				
			Typ oleje		WG68		
			Název		Renolín		
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51517		
Název			Specifikace ISO		6743/6		
Typ-číslo stroje			Specifikace SAE				
výrobní číslo			Jiná specifikace				
Strojní uzel							
Množství provozní náplně		200 litrů	Místo odběru		olejová nádrž		
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí				
Doba provozu celkem			Dodal:				
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování		2.5.2016		
VÝSLEDKY ZKOUŠEK							
Parametr kvality		Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
				min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C		mm²/s	ČSN EN ISO 3104	61,2		74,8	60,44
TAN (Č. kyselosti)		mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1,1	1,3	0,157
Obsah vody		hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0076
Mechanické nečistoty		mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	10,6
Kód čistoty		-	ČSN ISO 4406		21/18/15		21/19/16
Prvková analýza ED-XRF					výstr.	max.	hodnota
obsah Fe		ppm (mg/kg)	metodika		25	50	31,9
obsah Cu					20	30	66,8
obsah Cr					12,5	15	9,1
obsah Sn						15	
obsah Si					20	40	
Aditiva, degradace					nový	hodnota	
obsah S		ppm (mg/kg)	metodika			6246	
obsah P						342,2	
obsah Mg							
obsah Mo							
obsah Zn						166,3	
obsah Ca							



Příloha 4

Strojní zařízení			VZOREK			
L3 po filtraci			Číslo			
			Typ oleje		WG68	
			Název		Renolin	
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51517	
Název			Specifikace ISO		6743/6	
Typ-číslo stroje			Specifikace SAE			
výrobní číslo			Jiná specifikace			
Strojní uzel						
Množství provozní náplně		200 litrů	Místo odběru		olejová nádrž	
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí			
Doba provozu celkem			Dodal:			
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování		2.5.2016	
VÝSLEDKY ZKOUŠEK						
Parametr kvality	Rozměř	Metoda	Pořadov. hodnota			Stanovená hodnota
			min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C	mm²/s	ČSN EN ISO 3104	61,2		74,8	60,38
TAN (Č. kyselosti)	mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1,1	1,3	0,157
Obsah vody	hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	1,1549
Mechanické nečistoty	mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	22
Kód čistoty	-	ČSN ISO 4406		21/18/15		19/18/13
Prvková analýza ED-XRF				výstr.	max.	hodnota
obsah Fe	ppm (mg/kg)	metodika		25	50	22,6
obsah Cu				20	30	56,4
obsah Cr				12,5	15	9,1
obsah Sn					15	
obsah Si				20	40	
Aditiva, degradace				nový		hodnota
obsah S	ppm (mg/kg)	metodika				6251
obsah P						357,8
obsah Mg						
obsah Mo						
obsah Zn						179,7
obsah Ca						



Příloha 5

Strojní zařízení			VZOREK				
L4 po filtraci			Číslo				
			Typ oleje		Q8 46		
			Název		Haydn		
STROJNÍ ZAŘÍZENÍ			Specifikace DIN		51517		
Název			Specifikace ISO		6743/6		
Typ-číslo stroje			Specifikace SAE				
výrobní číslo			Jiná specifikace				
Strojní uzel							
Množství provozní náplně	230 litrů		Místo odběru		olejová nádrž		
Doba provozu od posl. výměny			Datum převzetí				
Doba provozu celkem			Dodal:				
V průběhu provozu doplněno			Datum vypracování		2.5.2016		
VÝSLEDKY ZKOUŠEK							
Parametr kvality		Rozměr	Metoda	Požadov. hodnota			Stanovená hodnota
				min.	výstr.	max.	
Kinematická viskozita při 40°C		mm²/s	ČSN EN ISO 3104	41,4		50,6	46,8
TAN (Č. kyselosti)		mgKOH/g	ČSN ISO 6618		1,1	1,3	0,273
Obsah vody		hm. %	ČSN EN ISO 12937		0,03	0,05	0,0148
Mechanické nečistoty		mg/100cm³	ČSN 65 6220		20	50	45,4
Kód čistoty		-	ČSN ISO 4406		21/18/15		19/18/13
Prvková analýza ED-XRF					výstr.	max.	hodnota
obsah Fe		ppm (mg/kg)	metodika		25	50	9,5
obsah Cu					20	30	4,2
obsah Cr					12,5	15	9,1
obsah Sn						15	
obsah Si					20	40	
Aditiva, degradace					nový	hodnota	
obsah S		ppm (mg/kg)	metodika			5859	
obsah P						295,5	
obsah Mg							
obsah Mo							
obsah Zn						68	
obsah Ca							



